

"Express Mail" mailing label number EV 330124639 US
Date of Deposit: August 6, 2003

Case No. 56/415

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: Wolfgang Holzapfel et al.)
Serial No.: to be assigned) Examiner: Not Assigned
Filed: August 6, 2003) Group Art Unit: Not Assigned
For: INTERFERENTIAL POSITION)
MEASURING ARRANGEMENT)

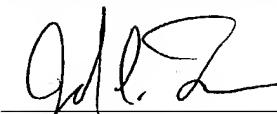
SUBMISSION OF CERTIFIED PRIORITY
DOCUMENT UNDER 37 CFR § 1.55

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of priority document German Patent Application Serial No. 102 36 230.0, filed August 7, 2002. The Examiner is kindly requested to acknowledge receipt of this document, and to acknowledge the Applicants' claim to foreign priority under 35 USC § 119.

Respectfully submitted,


John C. Freeman
Registration No. 34,483
Attorney for Applicants

Dated: August 6, 2003

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 36 230.0

Anmeldetag: 7. August 2002

Anmelder/Inhaber: DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Traunreut/DE

Bezeichnung: Interferenzielle Positionsmesseinrichtung

IPC: G 01 B, G 01 D, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

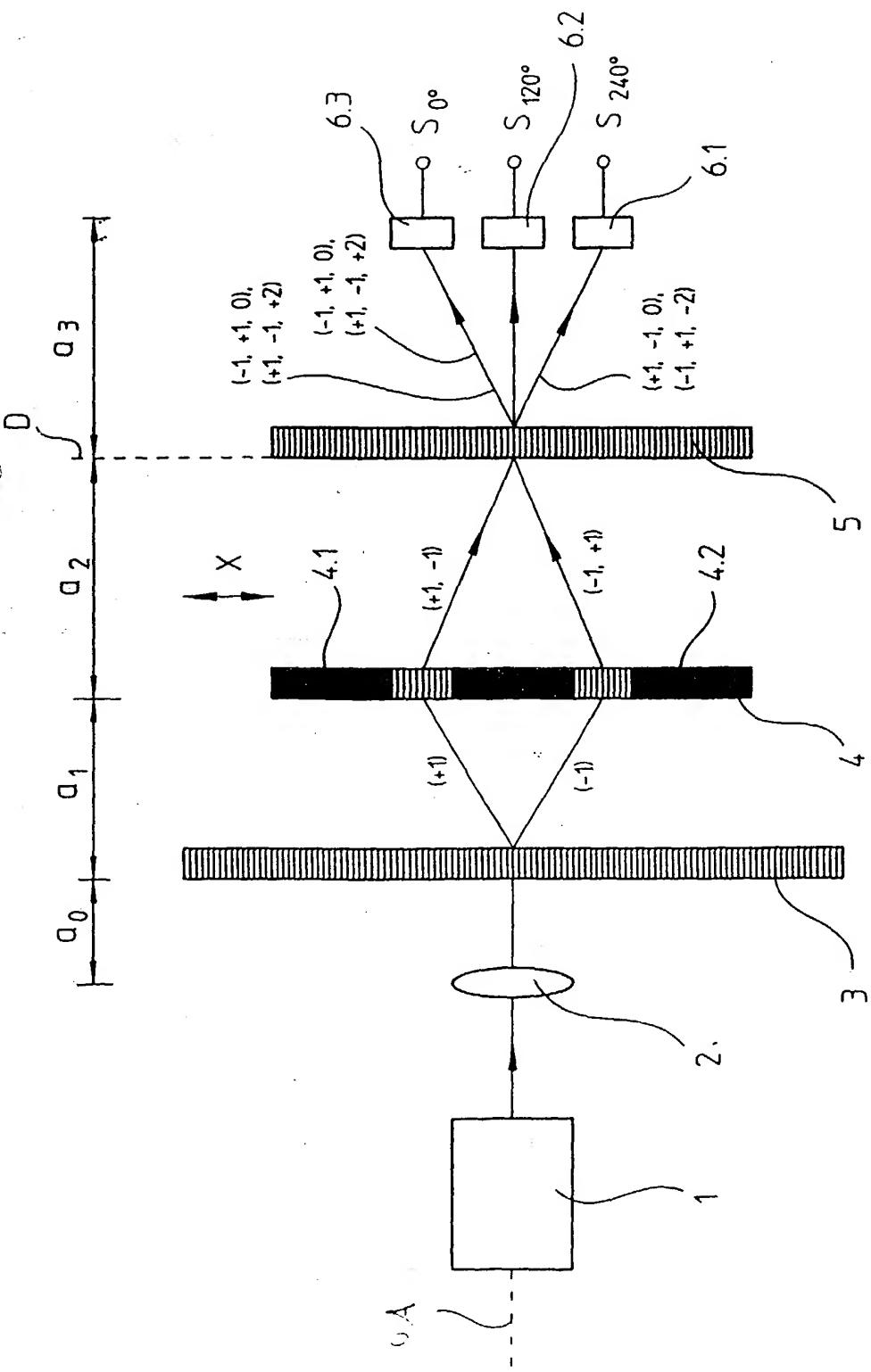
A. Mürkis

Zusammenfassung

Interferenzielle Positionsmeßeinrichtung

=====

- 5 Es wird eine interferenzielle Positionsmeßeinrichtung angegeben. Diese umfasst eine Lichtquelle, die ein Strahlenbündel in Richtung einer optischen Achse emittiert. Ein der Lichtquelle nachgeordnetes Optikelement formt das von der Lichtquelle emittierte Strahlenbündel um. Im Bereich des umgeformten Strahlenbündels ist ein Maßstabgitter angeordnet, das das einfal-lende Strahlenbündel zumindest in erste und zweite Teilstrahlenbündel auf-spaltet, die sich von der optischen Achse weg ausbreiten. Im Strahlengang der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel ist je ein Abtastgitter angeordnet, wobei jedes Abtastgitter wieder eine Aufspaltung der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel in dritte und vierte bzw. fünfte und sechste Teilstrahlen-15 bündel bewirkt, von denen sich zumindest zwei hin zur optischen Achse ausbreiten. Im Fall einer Relativbewegung des mit einem ersten Objekt ver-bundenen Maßstabgitters gegenüber der mit einem zweiten Objekt verbun-denen Lichtquelle und Abtastgittern resultiert in einer Detektionsebene ein periodisch moduliertes Interferenzstreifenmuster mit einer definierten räumli-chen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}). Zur Detektion phasenverscho-bener Abtastsignale existieren verschiedene Möglichkeiten, beispielsweise mittels eines in der Detektionsebene angeordneten Detektionsgitter und mehrerer optoelektronischer Detektorelemente oder mittels einer periodi-schen Detektoranordnung in der Detektionsebene (Figur 1).



Interferenzielle Positionsmesseinrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine interferenzielle Positionsmesseinrichtung.

Zur präzisen Positionsbestimmung sind interferenzielle Positionsmesseinrichtungen bekannt, welche Beugungsscheinungen an Gittern zur Erzeugung hochauflösender, positionsabhängiger Abtastsignale nutzen. Bei einer Bewegung eines Maßstabgitters relativ zu einer Abtasteinheit resultieren in den Teilstrahlenbündeln mit abgelenkten Beugungsordnungen Phasenverschiebungen, die proportional zur Wegänderung sind. Zur Auswertung bzw. Erfassung der jeweiligen Phasenverschiebungen werden die unterschiedlichen, aufgespaltenen Teilstrahlenbündel bzw. Beugungsordnungen überlagert und zur Interferenz gebracht. Im Fall einer Bewegung resultiert eine periodische Modulation des Interferenzstreifenmusters, die mittels einer geeigneten optoelektronischen Detektoranordnung erfasst wird. Im Zusammenhang mit derartigen interferenziellen Positionsmesseinrichtungen sei etwa

auf Kap. 4, S. 47 - 52 der Dissertation "Dreigitterschrittgeber" von J.Willhelm, 1978 verwiesen.

Eine weitere Variante interferentieller Positionsmesseinrichtungen ist aus 5 Figur 13 der US 6,005,667 bekannt. Ein von einer Lichtquelle emittiertes Strahlenbündel trifft nach einer Strahlformung über eine Linse auf ein Maßstabgitter, welches im Bereich der Strahlaille des umgeformten Strahlenbündels angeordnet ist. Vom Maßstabgitter wird das einfallende Strahlenbündel in die +/- 1. Beugungsordnungen bzw. in entsprechende Teilstrahlenbündel aufgespalten, die sich von der optischen Achse weg ausbreiten. 10 Die Teilstrahlenbündel gelangen anschließend auf weitere beugende Abtastgitter, die die einfallenden Teilstrahlenbündel wieder in Richtung der optischen Achse zurück ablenken. In einer Detektionsebene, in der die Teilstrahlenbündel zur Interferenz kommen, ist ein Detektionsgitter angeordnet, 15 welches vier phasenverschobene Teilbereiche aufweist, um am nachgeordneten Detektorelement vier, um jeweils 90° phasenverschobene Abtastsignale zu erzeugen.

Ergänzend sei an dieser Stelle auf die Druckschriften US 5,574,558 verwiesen, die eine weitere interferentielle Positionsmesseinrichtung offenbart. 20

Als grundsätzlich kritisch erweisen sich bei derartigen hochauflösenden Positionsmesseinrichtungen die Anforderungen an die Anbautoleranzen. Das heißt, die Anbautoleranzen sind in der Regel sehr gering, was wiederum 25 einen hohen Montage- und Justageaufwand verursacht. Hinzu kommen Forderungen nach einem möglichst klein bauenden System, insbesondere einer möglichst klein bauenden Abtasteinheit und einer möglichst weitgehenden Verschmutzungsunempfindlichkeit. Wichtig ist bei derartigen Positionsmesseinrichtungen grundsätzlich eine möglichst gute Qualität der resultierenden Abtastsignale, insbesondere wenn eine elektronische Weiterverarbeitung, z.B. eine Interpolation derselben, vorgesehen ist. Keine der interferentiellen Positionsmesseinrichtungen aus den zitierten Druckschriften 30 erfüllt sämtliche angegebenen Anforderungen jedoch in zufriedenstellender Art und Weise.

So weist etwa das bekannte System aus der US 6,005,667 trotz einer gewissen Unempfindlichkeit gegenüber Dejustierungen von Maßstabgitter und Abtasteinheit nach wie vor eine hohe Anfälligkeit gegenüber Verschmutzungen des Maßstabgitters auf.

5

Als nachteilig an der bekannten Vorrichtung aus der US 5,574,558 wäre zu erwähnen, dass dieses eine große Empfindlichkeit gegenüber Schwankungen des Abstandes zwischen den zwei zueinander beweglichen Gittern aufweist, d.h. insbesondere in dieser Richtung liegen nur geringe Anbautoleranzen vor. Verursacht wird dies durch das divergierende bzw. nicht-kollimierte Beleuchtungsstrahlenbündel, welches auf das erste Gitter trifft.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine hochauflösende interferenzielle Positionsmeßeinrichtung zu schaffen, die große Anbautoleranzen besitzt, möglichst verschmutzungsunempfindlich ist und einen kompakten Aufbau ermöglicht.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine interferenzielle Positionsmeßeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 1.

20

Ferner wird diese Aufgabe gelöst durch eine interferenzielle Positionsmeßeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 2.

Vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen interferenziellen

25 Positionsmesseinrichtungen ergeben sich aus den Maßnahmen, die in den von Anspruch 1 bzw. Anspruch 2 abhängigen Patentansprüchen aufgeführt sind.

Als Vorteil der erfindungsgemäßen Lösungen ist zunächst anzuführen, dass 30 insbesondere im Fall der Ausbildung als rotatorische Positionsmesseinrichtung große Anbautoleranzen hinsichtlich der Lage der Teilscheibe mit dem Maßstabgitter resultieren. Es liegen große Anbautoleranzen sowohl in radialer bzw. tangentialer Richtung wie auch in axialer Richtung vor. Der Auf-

wand bei der Montage der Positionsmesseinrichtung lässt sich damit deutlich reduzieren.

Des weiteren besitzen die über die erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtungen erzeugten Abtastsignale einen relativ geringen Anteil an unerwünschten Oberwellen, d.h. es liegen qualitativ gute Abtastsignale vor. Messfehler bei der elektronischen Signal-Weiterverarbeitung können deshalb minimiert werden.

10 Ferner ist zu erwähnen, dass sich auf Grundlage der erfindungsgemäßen Überlegungen kompakt bauende Gesamtsysteme realisieren lassen, die auch unter begrenzten Einbauverhältnissen einsetzbar sind.

15 Auch die Anforderungen hinsichtlich Verschmutzungsunempfindlichkeit sind aufgrund der realisierten sog. Einfeldabtastung erfüllt. Dies bedeutet, dass im Fall einer eventuellen Verschmutzung des Maßstabgitters stets alle erzeugten phasenverschobenen Abtastsignale gleichmäßig beeinflusst werden und deshalb keine größeren Fehler bei der Signalweiterverarbeitung auftreten.

20 Die erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtungen können selbstverständlich sowohl als rotatorische wie auch als lineare Positionsmesseinrichtungen ausgebildet werden. Des weiteren ist es möglich, außer Durchlicht-Systemen auch Auflicht-Systeme auf Grundlage der erfindungsgemäßen Überlegungen zu realisieren.

25 Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beiliegenden Figuren.

30

Dabei zeigt

Figur 1

eine schematisierte Darstellung des entfalteten Abtastrahlenganges einer ersten Ausführungs-

form der erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtung;

Figur 2
5 eine schematische Darstellung des Strahlverlaufes von der Lichtquelle bis zum Maßstabgitter;

Figur 3
10 eine schematisierte räumliche Teil-Darstellung einer rotatorischen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtung mit einem Abtaststrahlengang gemäß Figur 1;

Figur 4
15 eine schematisierte Darstellung des Abtaststrahlenganges einer zweiten Variante der erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtung;

Figur 5
20 eine Darstellung der Detektoranordnung der Positionsmesseinrichtung aus Figur 4 in Verbindung mit dem damit abgetasteten Interferenzstreifenmuster;

Figur 6
25 eine schematisierte räumliche Teil-Darstellung einer rotatorischen Ausführungsform der erfindungsgemäßen interferenziellen Positionsmesseinrichtung mit einem Abtaststrahlengang gemäß Figur 4.

Anhand der Figuren 1 - 3 sei zunächst eine erste Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung erläutert. Figur 1 zeigt hierbei in schematisierter Form den entfalteten Abtaststrahlengang der Positionsmesseinrichtung. Die Positionsmesseinrichtung dient zur hochpräzisen Bestimmung der Relativposition zweier Objekte, die in mindestens einer Messrichtung zueinander beweglich sind. In der schematischen Prinzip-Darstellung der Fi-

gur 1 sei über den Pfeil eine lineare Verschiebung in Messrichtung x des Maßstabgitters 3 gegenüber den restlichen Elementen 1, 2, 4, 5, 6 ange-
deutet, die in einer Abtasteinheit angeordnet sind. Mit einem der beiden
5 Objekte ist demzufolge das Maßstabgitter 3 verbunden, mit dem anderen
der Objekte zumindest eine Lichtquelle 1 und die Abtastgitter 4.1, 4.2 der
Abtastplatte 4. Wie anhand der folgenden Erläuterungen ersichtlich wird,
kann anstelle einer linearen Messrichtung selbstverständlich auch eine ro-
tatorische Messrichtung vorgesehen sein, wenn sich etwa zwei Objekte rela-
tiv zueinander um eine Rotationsachse drehen und die winkelmäßige Rela-
10 tivposition der beiden Objekte bzgl. der Rotationsachse zu bestimmen ist.

Im folgenden wird anhand von Figur 1 der grundsätzliche Abtaststrahlen-
gang zur Erzeugung der verschiebungsabhängigen Abtastsignale erläutert.

15 Von einer Lichtquelle 1, beispielsweise ausgebildet als Halbleiter-Lichtquelle
in Form einer Laserdiode bzw. eines sog. VCSEL (Vertical Cavity Surface
Emitting Laser), wird ein Strahlenbündel emittiert, das sich entlang der
Richtung einer optischen Achse OA ausbreitet. Im wesentlichen handelt es
sich beim emittierten Strahlenbündel vorzugsweise um eine TEM 00 Mode
20 eines Gauß'schen Strahles, der von dem als Lichtquelle 1 verwendeten
VCSEL emittiert wird. Das von der Lichtquelle 1 emittierte Strahlenbündel
weist aufgrund der VCSEL-Abstrahlcharakteristik eine bestimmte Divergenz
auf und wird mittels eines Optikelementes 2 umgeformt, das der Lichtquelle
1 in Strahlausbreitungsrichtung nachgeordnet ist; als Optikelement 2 ist im
25 vorliegenden Beispiel eine einzelne Linse vorgesehen. Alternativ hierzu
könnte zur Strahlumformung auch komplexere Linsensysteme, Spiegel-
systeme, Fresnellinsen, GRIN-Linsen etc. in Betracht kommen.

Die Strahlumformung des emittierten, divergenten Strahlenbündels erfolgt
30 vorzugsweise dergestalt, dass nach dem Optikelement 2 ein annähernd kol-
limiertes Strahlenbündel vorliegt, das in einem bestimmten Abstand a_0 vom
Optikelement 2 eine Strahltaille besitzt. Als Strahltaille sei in diesem Zu-
sammenhang diejenige Stelle im Strahlquerschnitt entlang der Strahlaus-
breitungsrichtung verstanden, an der das Strahlenbündel seine minimalste

Fläche bzw. Querausdehnung besitzt. Zur Erläuterung sei an dieser Stelle ergänzend auf die Figur 2 verwiesen, die die Form des Strahlenbündels vor und nach der Strahlumformung zeigt. Wie sowohl aus Figur 2 als auch aus Figur 1 ersichtlich, ist im Bereich der Strahltaille im Abstand a_0 vom Optik-

5 element 2 entfernt ein Maßstabgitter 3 angeordnet, auf welches das umgeformte Strahlenbündel auftrifft. Die Anordnung des Maßstabgitters 3 an dieser Stelle hat den Vorteil, dass dadurch die Anbautoleranz, sowohl in radialer bzw. tangentialer Richtung wie auch in Richtung der Strahlausbreitung, also in axialer Richtung, vergrößert wird. Grundsätzlich ist für eine hohe An-

10 bauteiletoleranz in dieser Richtung eine Beleuchtung des Maßstabgitters 3 mit einem Strahlenbündel geringer Divergenz und einem kleinem Strahldurchmesser anzustreben. Da sich diese Größen bei einer vorgegebenen Wellenlänge nicht beliebig minimieren lassen, ist ein Kompromiss für die optimale Anordnung des Maßstabgitters 3 zu finden. Ein derartiger Kompromiss

15 ergibt sich durch die Anordnung des Maßstabgitters 3 in der Strahltaille des emittierten bzw. umgeformten Strahlenbündels, wo das Produkt aus Divergenz und Strahldurchmesser der TEM 00 Mode eines Gauß'schen Strahles ein Minimum besitzt.

20 Das Maßstabgitter 3 bewirkt eine Aufspaltung des einfallenden Strahlenbündels in erste und zweite Teilstrahlenbündel (+1), (-1), die sich von der optischen Achse OA weg ausbreiten. In einem konkreten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist das Maßstabgitter 3 als beugendes Phasengitter ausgebildet, d.h. die ersten und zweiten Teil-

25 strahlenbündel (+1), (-1) entsprechen den in die jeweiligen Raumrichtungen abgelenkten +/- 1. Beugungsordnungen. Das als Phasengitter ausgebildete Maßstabgitter 3 besitzt in einer bevorzugten Ausführungsform ein Steg-Lücke-Verhältnis $\eta_{MG} = 1:1$ sowie einen Phasenhub $\phi_{MG} = 180^\circ$.

30 Im dargestellten Beispiel der Figuren 1 - 3 ist das Maßstabgitter 3 als Durchlichtgitter ausgebildet, grundsätzlich ist es alternativ hierzu auch möglich, das Maßstabgitter 3 als reflektierendes Auflichtgitter auszubilden, wenn das Gesamtsystem im Auflicht betrieben werden soll.

Nach der erfolgten Aufspaltung am Maßstabgitter 3 treffen die ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1) anschließend im Verlauf der Strahlausbreitung auf je ein Abtastgitter 4.1, 4.2, das im jeweiligen Teil-Strahlengang angeordnet ist. Die beiden Abtastgitter 4.1, 4.2 sind gemeinsam auf einer 5 Abtastplatte 4 angeordnet. Die Abtastplatte 4 ist im Bereich außerhalb der Abtastgitter 4.1, 4.2 undurchlässig ausgebildet, was in Figur 1 durch die schwarz dargestellten Bereiche auf Seiten der Abtastplatte 4 verdeutlicht werden soll. Auf diese Art und Weise ist sichergestellt, dass lediglich die 10 Teilstrahlenbündel (+1), (-1) respektive +/- 1. Beugungsordnungen, die vom Maßstabgitter 3 weg propagieren, zur Signalerzeugung beitragen. Im vorliegenden Fall handelt es sich hierbei ausschließlich um die +/- 1. Beugungsordnungen.

Über die Abtastgitter 4.1, 4.2 erfolgt wiederum eine Aufspaltung der jeweils 15 darauf einfallenden ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1). Das erste Teilstrahlenbündel (+1) wird durch das Abtastgitter 4.1 zumindest in ein drittes und vieres Teilstrahlenbündel aufgespalten, das zweite Teilstrahlenbündel (-1) wird über das Abtastgitter 4.2 zumindest in ein fünftes und sechstes Teilstrahlenbündel aufgespalten. Von den mindestens resultierenden 20 vier aufgespaltenen Teilstrahlenbündeln breiten sich zumindest zwei Teilstrahlenbündel (+1, -1), (-1, +1) wieder zur optischen Achse OA hin aus, während die restlichen Teilstrahlenbündel von der optischen Achse weg propagieren und nicht weiter zur Signalerzeugung beitragen. In der Darstellung der Figur 1 sind ab den Abtastgittern 4.1, 4.2 lediglich die beiden Teilstrahlenbündel (+1, -1), (-1, +1) dargestellt, die sich zur optischen Achse OA 25 hin ausbreiten und nachfolgend zur Erzeugung der verschiebungabhängigen Abtastsignale genutzt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind auch die Abtastgitter 4.1, 4.2 als 30 beugende Phasengitter ausgebildet, d.h. die von den beiden Abtastgittern 4.1, 4.2 aufgespaltenen dritten und vierten bzw. fünften und sechsten Teilstrahlenbündel entsprechen den +/- 1. Beugungsordnungen. Neben zur Signalerzeugung genutzten Teilstrahlenbündeln (+1, -1), (-1, +1) ist in Figur 1

jeweils angegeben, welchen Beugungsordnungen an den verschiedenen Gittern diese Teilstrahlenbündel entsprechen.

Die als Abtastgitter 4.1, 4.2 genutzten Phasengitter besitzen ein Steg-Lücke-

5 Verhältnis $\eta_{AG} = 1:1$ sowie einen Phasenhub $\varphi_{AG} = 180^\circ$; ferner ist die jeweilige Abtastgitter-Teilungsperiode TP_{AG} kleiner als die Maßstabgitter-Teilungsperiode TP_{MG} gewählt.

10 Im Fall einer Relativbewegung des ersten Objektes, das z.B. mit dem Maßstabgitter 3 verbunden ist, gegenüber dem zweiten Objekt, welches mit Lichtquelle 1 und Abtastgittern 4.1, 4.2 verbunden ist, resultiert in einer Detektionsebene D aus der Überlagerung der Teilstrahlenbündel (+1, -1) und (-1, +1) ein periodisch moduliertes Interferenzstreifenmuster mit einer definierten räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode P_{IF} . Aus der geeigneten 15 Detektion dieses Interferenzstreifenmusters können die gewünschten verschiebungsabhängigen Abtastsignale gewonnen werden.

20 Bevor abschließend zur Erläuterung der vorliegenden Variante die Detektion der verschiebungsabhängigen Abtastsignale erläutert wird, sei nachfolgend auf weitere vorteilhafte Dimensionierungsregeln des Gesamtsystems eingegangen.

25 In diesem Zusammenhang ist zunächst eine erste Dimensionierungsregel für die geeignete Wahl der Abstände a_1 bzw. a_2 anzugeben. Mit a_1 wird der Abstand zwischen dem Maßstabgitter 3 und den Abtastgittern 4.1, 4.2 bezeichnet, mit a_2 der Abstand zwischen den Abtastgittern 4.1, 4.2 und der Detektionsebene D; bzgl. der Definition der verschiedenen Größen sei auch auf die Figur 1 verwiesen. In einer bevorzugten Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ist das Verhältnis der Abstände a_1 und a_2 gemäß 30 folgender Gleichung (1) zu wählen:

$$\frac{a_2}{a_1} = 2 \frac{P_{IF}}{TP_{MG}} \sqrt{\frac{1 - (\lambda / TP_{MG})^2}{1 - (\lambda / 2P_{IF})^2}} \quad \text{Gl. (1)}$$

Für die verwendeten Größen gilt hierbei:

a_1 := Abstand zwischen Maßstabgitter und Abtastgitter

a_2 := Abstand zwischen Abtastgitter und Detektionsebene

5 TP_{MG} := Maßstabgitter-Teilungsperiode

P_{IF} := Räumliche Streifenmuster-Periode in der Detektionsebene

λ := Wellenlänge der Lichtquelle.

Durch die Wahl des Abstandes a_1 wird sichergestellt, dass zumindest die
10 vom Maßstabgitter 3 aufgespaltenen ersten und zweiten Teilstrahlenbündel
(+1), (-1) im Bereich der Abtastgitter 4.1, 4.2 räumlich getrennt voneinander
vorliegen. Ferner ist durch eine derartige Wahl des Abstandes a_1 gewähr-
leistet, dass i.w. nur die +/- 1. Beugungsordnungen zur Signalerzeugung
beitragen, woraus wiederum nur geringfügig gestörte Abtastsignale resultie-
15 ren, die insbesondere keine Oberwellenanteile besitzen.

Eine weitere Dimensionierungsvorschrift gibt die Größe der Abtastgitter-Tei-
lungsperiode TP_{AG} in Abhängigkeit anderer Größen an. Vorzugsweise ist die
Abtastgitter-Teilungsperiode TP_{AG} gemäß folgender Gleichung (2) zu wäh-
20 len:

$$TP_{AG} = 1/(1/TP_{MG} + 1/2P_{IF}) \quad \text{Gl. (2)}$$

Bezüglich der Bedeutung der verschiedenen Größen sei auf die obige Gl. (1)
25 verwiesen.

Detektionsseitig ist in der ersten erläuterten Variante der erfindungsge-
mäßen Positionsmesseinrichtung vorgesehen, in der Detektionsebene D ein
30 Detektionsgitter 5 anzurufen, welches eine Aufspaltung des durch das
Detektionsgitter 5 fallenden Lichtes in mindestens drei verschiedene Raum-
richtungen bewirkt. Dem Detektionsgitter 5 im Abstand a_3 nachgeordnet sind
detektionsseitig ferner mindestens drei optoelektronische Detektorelemente
6.1, 6.2, 6.3, die zur Erfassung bzw. Erzeugung phasenverschobener Ab-

tastsignale S_{0° , S_{120° , S_{240° aus der Abtastung des Interferenzstreifenmusters in der Detektionsebene D dienen.

Das Detektionsgitter 5 ist wie die anderen verwendeten Gitter ebenfalls als
5 beugendes Phasengitter ausgebildet, welches das einfallende Licht zumindest in drei Beugungsordnungen bzw. Raumrichtungen aufspaltet. In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Aufspaltung in die 0. Beugungsordnung sowie in die +/- 2. Beugungsordnung vorgesehen. Die in Richtung der drei Detektorelemente 6.1, 6.2, 6.3 propagierenden Teilstrahlenbündel sind
10 in Figur 1 durch die Angabe der jeweils miteinander interferierenden Beugungsordnungen an den verschiedenen Gittern bezeichnet.

Das entsprechende Phasengitter der Detektionsteilung 5 besitzt vorzugsweise ein Steg-Lücke-Verhältnis $\eta_{DG} = 1:2$ oder $\eta_{DG} = 2:1$ sowie einen Phasenhub von 120° oder 240° . Ferner besitzt das Detektionsgitter 5 eine Detektionsgitter-Teilungsperiode (TP_{DG}), die der doppelten räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) entspricht.

Aufgrund der genutzten Beugungsordnungen an den verschiedenen Gittern
20 resultieren im Fall der Relativbewegung von Maßstabgitter 3 und Abtasteinheit auf Seiten der drei Detektorelemente 6.1, 6.2, 6.3 jeweils um 120° phasenversetzte Abtastsignale S_{0° , S_{120° , S_{240° . Diese werden in bekannter Art und Weise über eine - nicht dargestellte - Folgeelektronik in ein Paar von Abtastsignalen umgesetzt, die einen Phasenversatz von 90° aufweisen.

25 Mithilfe dieser Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung lassen sich insbesondere sehr kleine Bauformen bei gleichzeitig hohem Modulationsgrad der Abtastsignale erzielen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Größe a_2 sehr klein gewählt werden kann. Hinzu kommt, dass die Optik dieses
30 Systems sich relativ einfach an verschiedenste geforderte Gitterkonstanten und Abtastabstände anpassen lässt.

Eine konkrete Ausführungsform des prinzipiell anhand von Figur 1 erläuterten Systems, das insbesondere zur Erfassung rotatorischer Relativbewe-

gungen um eine Rotationsachse R dient, ist in einer schematischen räumlichen Teil-Darstellung in Figur 3 gezeigt. Funktionsgleiche Komponenten haben in dieser Darstellung die gleichen Bezugszeichen wie in Figur 1.

5 Besonders vorteilhaft sind im Fall der rotatorischen Variante neben den bereits oben erwähnten Vorteilen der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung die resultierenden großen Anbautoleranzen des Maßstabgitters 3 bzw. der sog. Teilscheibe in radialer, tangentialer wie auch in axialer Richtung anzuführen.

10

Eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung wird nachfolgend anhand der Figuren 4 - 6 beschrieben. Hierbei wird im wesentlichen nur auf die entscheidenden Unterschiede zur ersten erläuterten Positionsmesseinrichtung eingegangen.

15

In Bezug auf die Erzeugung des im Fall der Relativbewegung periodisch modulierten Interferenzstreifenmusters in der Detektionsebene D entspricht diese Variante der ersten erläuterten Variante, d.h. über die Lichtquelle 11, das Optikelement 12, das Maßstabgitter 13 und die Abtastplatte 14 mit den

20

Abtastgittern 14.1, 14.2 wird in der bereits oben erläuterten Art und Weise in der Detektionsebene D das zu detektierende periodisch modulierte Interferenzstreifenmuster erzeugt.

25

Detektionsseitig ist im Unterschied zu obiger Positionsmesseinrichtung nunmehr vorgesehen in der Detektionsebene eine periodische Detektoranordnung 16 zu platzieren, über die das periodisch modulierte Interferenzstreifenmuster erfasst und in phasenverschobene Abtastsignale (S_{0° , S_{90° , S_{180° , S_{270°) umgesetzt wird.

30

Zur näheren Erläuterung der periodischen Detektoranordnung 16, die in Figur 4 lediglich schematisiert angedeutet ist, sei auf die Figur 5 verwiesen, die einen Teil einer derartigen Detektoranordnung 16 in Draufsicht zeigt. Die periodische Detektoranordnung 16 umfasst eine Vielzahl von einzelnen optoelektronischen Detektorelementen 16.1, 16.2....., die benachbart zueinan-

der in einem bestimmten Abstand d angeordnet sind. Aus der elektrisch leitenden Verbindung von Detektorelementen 16.1, 16.2,..., die phasengleiche Abtastsignale liefern, ergibt sich eine Detektorperiodizität P_{DET} in Richtung x, d.h. das Detektorelement 16.1 liefert das phasengleiche Abtastsignal S_0 .

5 wie auch das Detektorelement 16.5, das Detektorelement 16.2 liefert das phasengleiche Abtastsignal S_{90° wie auch das Detektorelement 16.6 usw..

Um ausgangsseitig die gewünschte Anzahl phasenversetzte Abtastsignale S_0° , S_{90° , S_{180° , S_{270° aus der Abtastung des periodisch modulierten Interferenzstreifenmusters zu erzeugen, ist es erforderlich, die Detektor-Periode 10 P_{DET} auf die räumliche Interferenzstreifenmuster-Periode P_{IF} abzustimmen, d.h. die Detektor-Periodizität P_{DET} entspricht vorzugsweise der räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode P_{IF} . Im vorliegenden Beispiel sollen ausgangsseitig insgesamt vier, um jeweils 90° phasenverschobene Abtastsignale 15 S_0° , S_{90° , S_{180° , S_{270° erzeugt werden. Aus diesem Grund ist vorgesehen, innerhalb einer räumlichen Interferenzstreifenmusterperiode P_{IF} jeweils insgesamt vier Detektorelemente 16.1,... anzuordnen und jeweils jedes fünfte Detektorelement, das dann phasengleiche Abtastsignale S_0° , S_{90° , S_{180° , S_{270° liefert, elektrisch leitend miteinander zu verbinden.

20 Selbstverständlich ist es möglich, dass die gesamte Detektoranordnung 16 mehr als die in Figur 5 angedeuteten acht Detektorelemente 16.1, 16.2, umfasst. Ebenso kann grundsätzlich auch eine alternative Auslegung der Detektoranordnung 16 dahingehend realisiert werden, dass etwa andere 25 Phasenbeziehungen der ausgangsseitigen Abtastsignale resultieren, z.B. drei um 120° phasenversetzte Abtastsignale etc..

In Figur 6 ist analog zur Darstellung in Figur 3 schließlich eine räumliche Teildarstellung der zweiten erläuterten Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung dargestellt, die wiederum insbesondere zur Erfassung rotatorischer Relativbewegungen um eine Rotationsachse R dient. Funktionsgleiche Elemente haben in dieser Darstellung die gleichen Bezugsszeichen wie in Figur 3.

Alternativ zur dargestellten Detektions-Variante des zweiten Beispieles wäre es insbesondere im Fall besonders klein bauender System und daraus resultierenden kleinen räumlichen Interferenzstreifenmuster-Perioden P_{IF} möglich, beispielsweise nicht alle vier Detektorelemente innerhalb einer Periode P_{IF} anzutragen; benachbarte Detektorelemente unterschiedlicher Phasenlage könnten alternativ hierzu auch im Abstand $d = P_{IF} + P_{IF}/4$ angeordnet werden etc..

Neben den erläuterten Alternativen existieren im Rahmen der vorliegenden Erfindung somit selbstverständlich noch weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten.

Ansprüche

=====

1. Interferenzielle Positionsmeßeinrichtung zur Bestimmung der Relativposition zweier Objekte, die in mindestens einer Messrichtung (x) zueinander beweglich sind, bestehend aus
 - 5 - einer Lichtquelle (1), die ein Strahlenbündel in Richtung einer optischen Achse (OA) emittiert,
 - einem der Lichtquelle (1) nachgeordneten Optikelement (2), das das von der Lichtquelle (1) emittierte Strahlenbündel umformt,
 - einem der Lichtquelle (1) nachgeordneten Maßstabgitter (3), das das einfallende Strahlenbündel zumindest in erste und zweite Teilstrahlenbündel (+1), (-1) aufspaltet, die sich von der optischen Achse (OA) weg ausbreiten,
 - je einem Abtastgitter (4.1, 4.2), angeordnet im Strahlengang der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1), wobei jedes Abtastgitter (4.1, 4.2) wieder eine Aufspaltung der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1) in dritte und vierte bzw. fünfte und sechste Teilstrahlenbündel bewirkt, von denen sich zumindest zwei Teilstrahlenbündel (+1, -1), (-1, +1) hin zur optischen Achse (OA) ausbreiten und wobei im Fall einer Relativbewegung des mit dem ersten Objekt verbundenen Maßstabgitters (3) gegenüber der mit dem zweiten Objekt verbundenen Lichtquelle (1) und Abtastgittern (4.1, 4.2) in einer Detektionsebene (D) ein periodisch moduliertes Interferenzstreifenmuster mit einer definierten räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) resultiert,

- einem in der Detektionsebene angeordneten Detektionsgitter (5), welches eine Aufspaltung des durch das Detektionsgitter (5) fallenden Lichtes in mindestens drei verschiedene Raumrichtungen bewirkt und
- in den mindestens drei Raumrichtungen angeordnete optoelektronische Detektorelemente (6.1, 6.2, 6.3) zur Erfassung phasenverschobener Abtastsignale (S_{0° , S_{120° , S_{240°) .

5

2. Interferenzielle Positionsmesseinrichtung zur Bestimmung der Relativposition zweier Objekte, die in mindestens einer Messrichtung (x)

10 zueinander beweglich sind, bestehend aus

- einer Lichtquelle (11), die ein Strahlenbündel in Richtung einer optischen Achse (OA) emittiert,
- einem der Lichtquelle (11) nachgeordneten Optikelement (12), das das von der Lichtquelle (11) emittierte Strahlenbündel umformt,
- einem der Lichtquelle (11) nachgeordneten Maßstabgitter (13), das das einfallende Strahlenbündel zumindest in erste und zweite Teilstrahlenbündel (+1), (-1) aufspaltet, die sich von der optischen Achse (OA) weg ausbreiten,
- je einem Abtastgitter (14.1, 14.2), angeordnet im Strahlengang der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1), wobei jedes Abtastgitter (14.1, 14.2) wieder eine Aufspaltung der ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1) in dritte und vierte bzw. fünfte und sechste Teilstrahlenbündel bewirkt, von denen sich zumindest zwei Teilstrahlenbündel (+1, -1), (-1, +1) hin zur optischen Achse (OA) ausbreiten und wobei im Fall einer Relativbewegung des mit dem ersten Objekt verbundenen Maßstabgitters (13) gegenüber der mit dem zweiten Objekt verbundenen Lichtquelle (11) und Abtastgittern (14.1, 14.2) in einer Detektionsebene (D) ein periodisch moduliertes Interferenzstreifenmuster mit einer definierten räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) resultiert und
- einer in der Detektionsebene (D) angeordneten periodischen Detektoranordnung (16) zur Erfassung phasenverschobener Abtastsignale (S_{0° , S_{90° , S_{180° , S_{270°), bestehend aus einer Vielzahl von einzelnen De-

15

20

25

30

tektorelementen (16.1...16.8), wobei die Detektor-Periode (P_{DET}) auf die räumliche Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) abgestimmt ist.

3. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Lichtquelle (1; 11) als Halbleiter-Lichtquelle ausgebildet ist.
4. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Optikelement (2; 12) als Linse ausgebildet ist.
- 10 5. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Maßstabgitter (3; 13) als Phasengitter ausgebildet ist, und die aufgespaltenen ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1) den +/- 1. Beugungsordnungen entsprechen.
- 15 6. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 4, wobei das Maßstabgitter (3; 13) als Phasengitter mit einem Steg-Lücke-Verhältnis $\eta_{MG} = 1:1$ sowie einem Phasenhub $\varphi_{MG} = 180^\circ$ ausgebildet ist.
- 20 7. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Abtastgitter (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) als Phasengitter ausgebildet sind, und die aufgespaltenen dritten und vierten bzw. fünften und sechsten Teilstrahlenbündel jeweils den +/- 1. Beugungsordnungen entsprechen.
- 25 8. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 6, wobei die Abtastgitter (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) als Phasengitter mit einem Steg-Lücke-Verhältnis $\eta_{AG} = 1:1$ sowie einem Phasenhub $\varphi_{AG} = 180^\circ$ ausgebildet sind und jeweils eine Abtastgitter-Teilungsperiode (TP_{AG}) besitzen, die kleiner als die Maßstabgitter-Teilungsperiode (TP_{MG}) ist.
- 30 9. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Abtastgitter (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) auf einer Abtastplatte (4; 14) gemeinsam angeordnet sind.

10. Interferenzielle Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 8, wobei die Abtastplatte (4; 14) außerhalb der Bereiche mit den Abtastgittern (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) undurchlässig ausgebildet ist.

5 11. Interferenzielle Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Abtastgitter (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) in einem Abstand a_1 vom Maßstabgitter (3; 13) angeordnet sind, in der zumindest die vom Maßstabgitter (3; 13) aufgespaltenen ersten und zweiten Teilstrahlenbündel (+1), (-1) räumlich getrennt voneinander vorliegen.

10

12. Interferenzielle Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei für den Abstand a_1 zwischen dem Maßstabgitter (3; 13) und den Abtastgittern (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) und den Abstand a_2 zwischen den Abtastgittern (4.1, 4.2; 14.1, 14.2) und der Detektionsebene (D) gilt

15

$$\frac{a_2}{a_1} = 2 \frac{P_{IF}}{TP_{MG}} \sqrt{\frac{1 - (\lambda / TP_{MG})^2}{1 - (\lambda / 2P_{IF})^2}},$$

wobei

20 a_1 := Abstand zwischen Maßstabgitter und Abtastgitter

a_2 := Abstand zwischen Abtastgitter und Detektionsebene

TP_{MG} := Maßstabgitter-Teilungsperiode

P_{IF} := Räumliche Streifenmuster-Periode in der Detektionsebene

λ := Wellenlänge der Lichtquelle.

25

13. Interferenzielle Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 12, wobei für die Abtastgitter-Periode (TP_{AG}) gilt

$$TP_{AG} = 1 / (1 / TP_{MG} + 1 / 2P_{IF}),$$

30

wobei

TP_{AG} := Abtastgitter-Teilungsperiode.

14. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Maßstabgitter (3) im Bereich der Strahltaille des vom Optikelement (2) umgeformten Strahlenbündels angeordnet ist.
- 5 15. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 1, wobei das Detektionsgitter (5) als Phasengitter ausgebildet ist, welches einfallendes Licht zumindest in die 0. Beugungsordnung sowie in die +/- 2. Beugungsordnungen aufspaltet.
- 10 16. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 15, wobei das Detektionsgitter (5) als Phasengitter mit einem Steg-Lücke-Verhältnis $\eta_{DG} = 1:2$ oder $\eta_{DG} = 2:1$ sowie einem Phasenhub von 120° oder 240° ausgebildet ist und eine Detektionsgitter-Teilungsperiode (TP_{DG}) besitzt, die der doppelten räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) entspricht.
- 15 17. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 2, wobei die Detektor-Periode (P_{DET}) derart auf die räumliche Streifenmuster-Periode (P_{IF}) abgestimmt ist, dass benachbarte Detektorelemente (16.1,...16.8) jeweils um 90° phasenverschobene Abtastsignale ($S_{0^\circ}, S_{90^\circ}, S_{180^\circ}, S_{270^\circ}$) liefern.
- 20 18. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 17, wobei innerhalb einer räumlichen Interferenzstreifenmuster-Periode (P_{IF}) vier Detektorelemente (16.1, ...,16.8) angeordnet sind.
- 25 19. Interferenzielle Positionsmeseinrichtung nach Anspruch 2, wobei jeweils Detektorelemente (16.1,... 16.8) elektrisch leitend miteinander verbunden sind, die phasengleiche Abtastsignale ($S_{0^\circ}, S_{90^\circ}, S_{180^\circ}, S_{270^\circ}$) liefern.
- 30

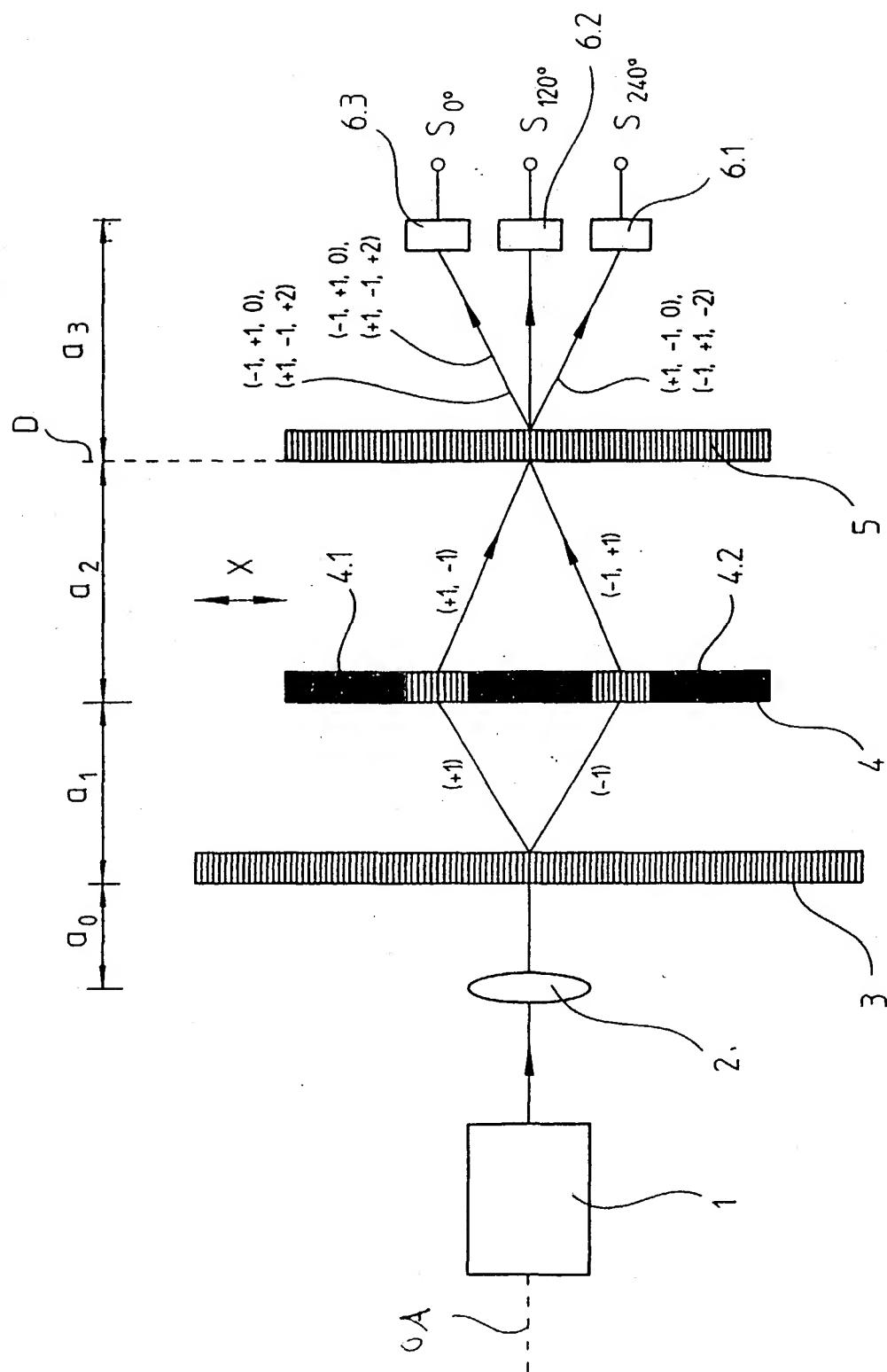


FIG. 1

FIG. 2

2/6

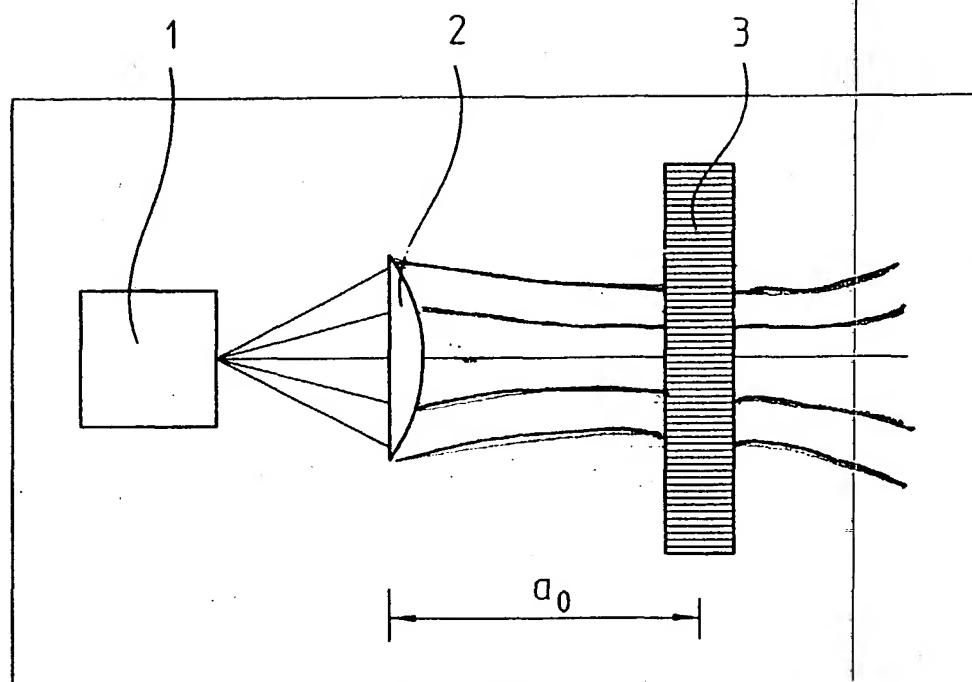
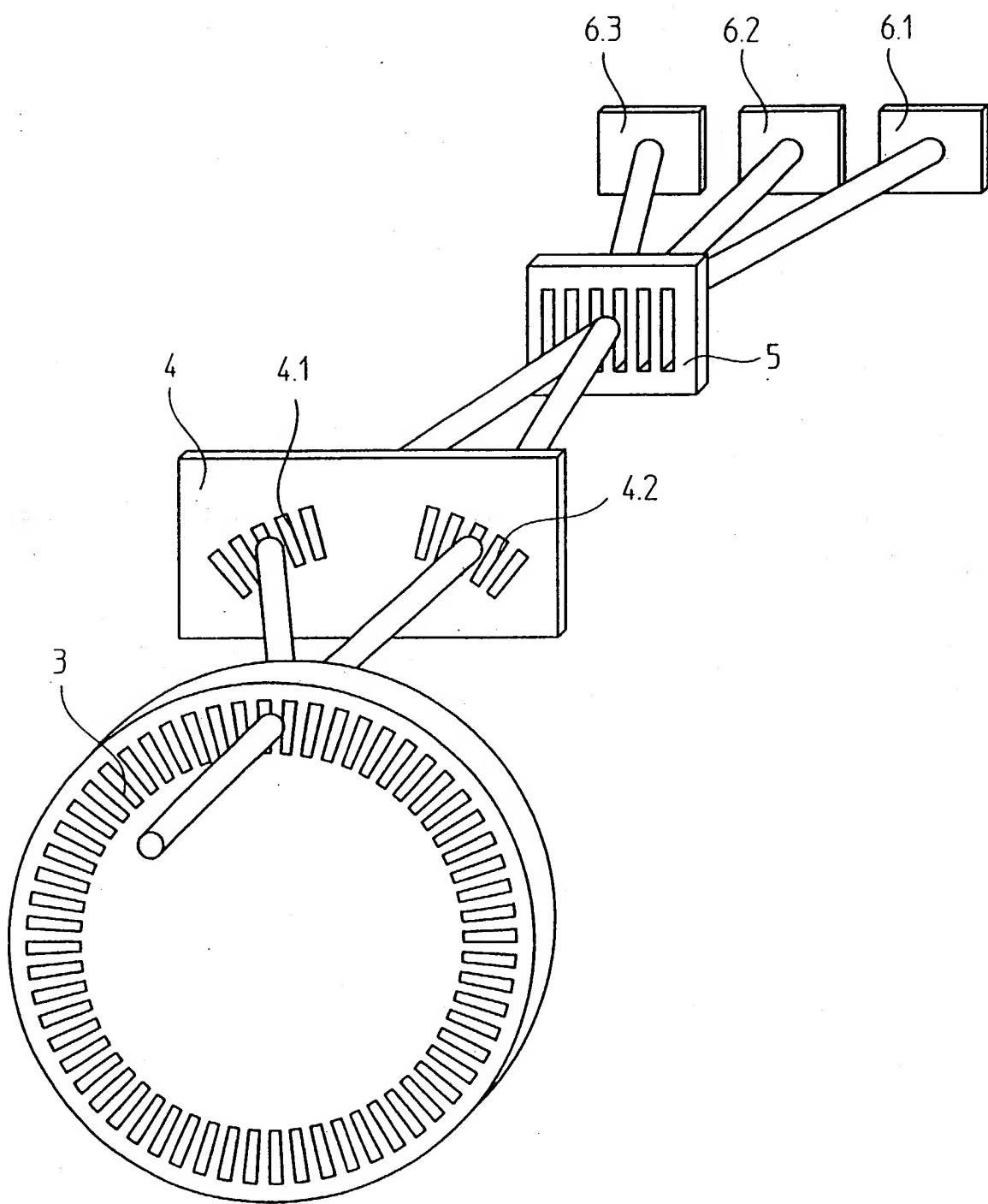


FIG. 3

3/6



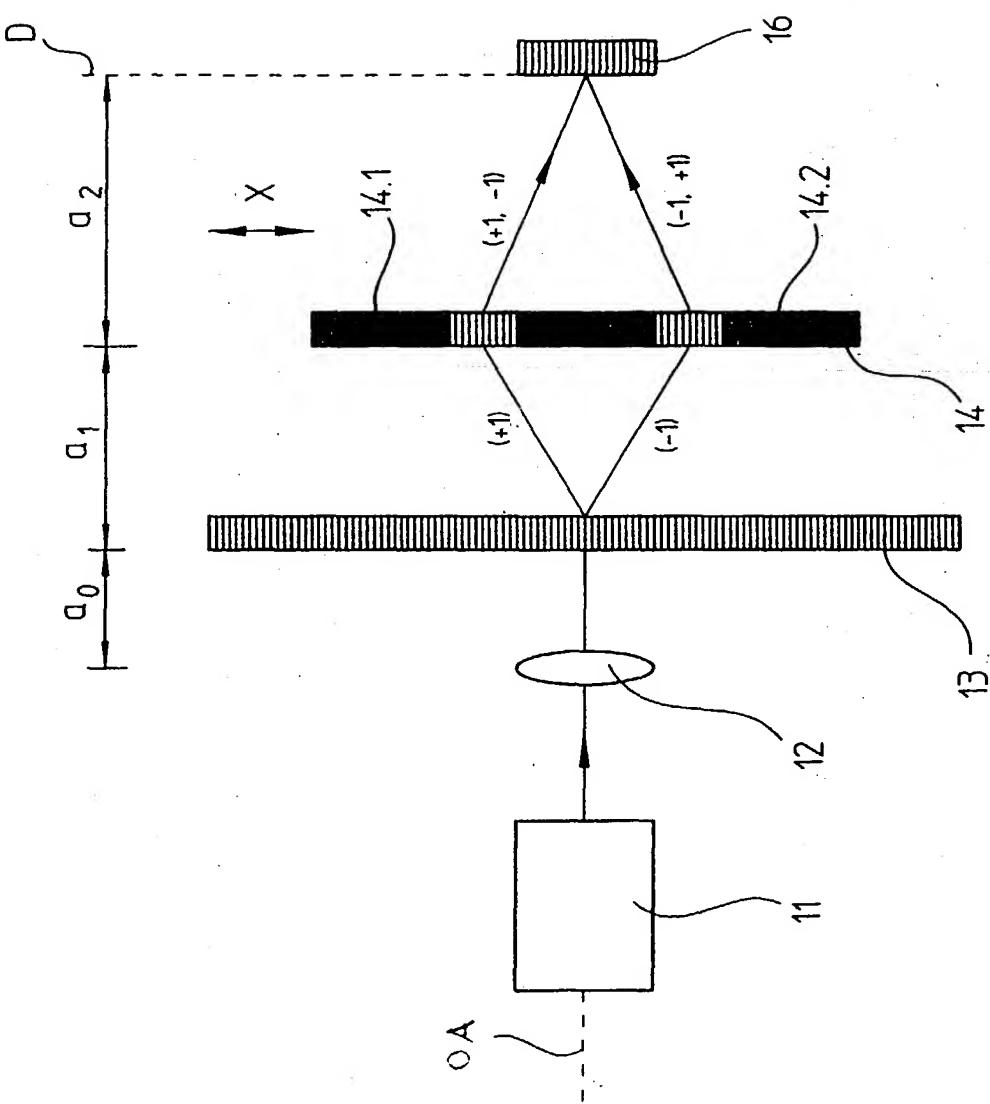


FIG. 4

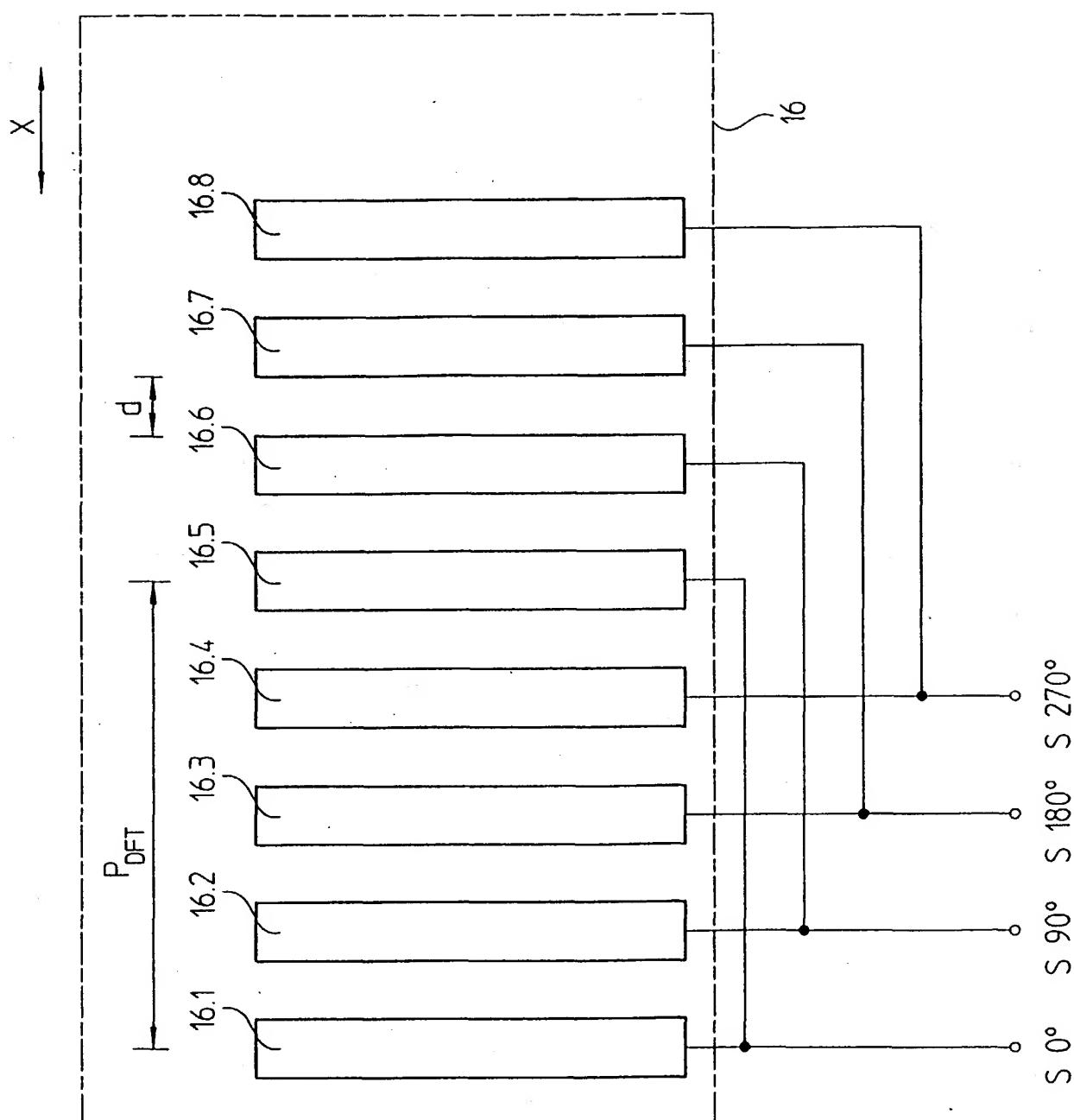


FIG. 5

FIG. 6

6/6

